

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

Banjir merupakan kejadian yang sering terjadi apabila curah hujan tinggi dan dapat menyebabkan kerugian yang cukup besar. Banjir adalah suatu kejadian dimana lahan yang biasanya kering, yaitu suatu wilayah yang bukan rawa, terendam air akibat curah hujan yang tinggi dan topografi wilayah yang bervariasi dari dataran rendah hingga cekung (Ligal, 2008).

Berdasarkan klasifikasinya banjir dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain yaitu:

1. Berdasarkan asal sumber air yang menyebabkan banjir, menurut (Ristya, 2012) terbagi menjadi dua jenis banjir yaitu:

a. Banjir lokal

Tingginya curah hujan dan kurangnya drainase yang memadai mengakibatkan terjadinya banjir lokal. Banjir lokal ini lebih bersifat lokal, sejalan dengan meluasnya distribusi curah hujan lokal. Jika saluran drainase tidak berfungsi optimal, banjir akan semakin parah dan saluran tersumbat oleh puing-puing yang mengakibatkan kapasitas drainase berkurang.

b. Banjir kiriman

Banjir kiriman terjadi karena meningkatnya debit sungai. Banjir semakin parah dengan datangnya muatan dari daerah hulu. Hal ini terutama disebabkan oleh bertambahnya luas lahan terbangun dan perubahan koefisien debit daerah tangkapan air sehingga lebih sedikit air yang merembes ke air tanah.

2. Banjir berdasarkan jenis airnya, menurut Kemenkes RI (2016) terbagi menjadi lima jenis yaitu:

a. Banjir air

Banjir ini adalah jenis yang sering terjadi. Ketika sungai, danau, atau selokan meluap, maka airnya meluap dan menggenangi daerah

sekitarnya sehingga mengakibatkan banjir. Banjir jenis ini biasanya disebabkan oleh curah hujan terus-menerus yang meluap ke danau dan sungai.

b. Banjir Cileunang

Banjir jenis ini hampir sama dengan banjir air, namun banjir Cileunang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi sehingga menyebabkan banyak air yang tumpah. Karena curah hujan yang banyak tidak dapat langsung melewati selokan atau saluran yang mengelilingi rumah pemilik rumah, akhirnya terjadilah banjir. Banjir Cileunang merupakan banjir yang terjadi secara tiba-tiba apabila dapat berlangsung dalam jangka waktu yang lama (terjadi segera setelah hujan tiba).

c. Banjir bandang

Selain membawa air, banjir bandang juga kerap membawa lumpur. Banjir jenis ini jelas lebih berbahaya dibandingkan jenis banjir lainnya karena seseorang tidak dapat berenang ke tempat yang aman dalam banjir tersebut. Karena dapat menghancurkan segalanya, banjir bandang bisa sangat merusak. Karena curah hujan kemudian terbawa ke daerah yang lebih rendah, banjir ini sering terjadi di daerah dekat pegunungan yang medannya terlihat seperti tanah longsor. Biasanya, banyak pohon hutan atau bebatuan besar yang hanyut terbawa banjir bandang. Tidak diragukan lagi bahwa komunitas pemukiman di dekat pegunungan akan menderita kerusakan akibat material ini.

d. Banjir rob

Banjir rob merupakan banjir yang disebabkan oleh naiknya air laut. Banjir seperti ini kerap melanda kota Morabaru di Jakarta. Kenaikan permukaan laut sering kali memperlambat penumpukan air sungai, yang kemudian merusak bendungan dan membanjiri daratan.

e. Banjir lahar dingin

Banjir jenis ini biasanya hanya terjadi pada saat terjadi letusan gunung berapi. Letusan tersebut kemudian memuntahkan lahar

dingin dari puncak gunung ke tanah di bawahnya. Lava dingin ini membuat sungai menjadi dangkal sehingga mudah meluap dan mengalir ke pemukiman warga.

Faktor-faktor penyebab banjir menurut (Siswoko, 2002), antara lain yaitu sebagai berikut:

1. Curah hujan

Pada saat musim hujan, curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya banjir disungai.

2. Erosi dan sedimentasi

Erosi di dalam suatu DAS mempengaruhi kemampuan sungai dalam menahan air karena tanah yang terkikis di dalam suatu DAS dapat mengendap dan menimbulkan sedimentasi jika terbawa ke sungai oleh air hujan. Sedimen mengurangi kapasitas sungai, yang dapat menyebabkan banjir jika debit melebihi kapasitas Sungai.

3. Kapasitas Sungai

Kapasitas sungai berkurang disebabkan oleh sedimentasi akibat erosi yang berlebihan pada dasar sungai dan tepian sungai akibat kurangnya tutupan vegetasi.

4. Pengaruh air pasang

Sungai mengalir lebih lambat menuju laut karena pengaruh pasang surut air laut. Tingkat genangan atau banjir akan semakin besar jika terjadi pada saat air pasang karena adanya arus balik yang terjadi.

5. Pendangkalan Sungai

Pendangkalan sungai akibat penumpukan lumpur atau puing-puing dari ketinggian dapat menyebabkan sungai menyempit. Akibatnya, kemampuan sungai dalam menyimpan air menjadi sangat berkurang, dan akhirnya air meluap hingga ke daratan.

6. Tidak berfungsinya saluran pembuangan air

Talang dan saluran drainase lainnya tidak selalu berfungsi. Selain terkeang dan penuh sampah, rasanya dangkal. Akibatnya, air meluap saat musim hujan.

7. Hilangnya lahan terbuka

Apabila suatu bangunan dibangun di atas tanah, dan bangunan tersebut berdiri tanpa memperhatikan masalah resapan air. Oleh karena itu, ketika hujan, air tidak dapat terserap karena daerah resapannya hilang dan air mengalir begitu saja, terutama ke pemukiman warga.

8. Sampah

Menumpahkan sampah secara tidak sengaja ke dalam sistem drainase dan sungai dapat menaikkan permukaan air dan membatasi pergerakan air, yang dapat mengakibatkan banjir.

9. Drainase lahan

Di dataran banjir, pertumbuhan pertanian dan drainase perkotaan menurunkan kapasitas tepian sungai dalam menampung air banjir.

10. Bendungan dan bangunan air

Ketinggian air banjir dapat dinaikkan melalui bendungan dan konstruksi air lainnya seperti jembatan karena efek arus balik.

11. Kerusakan bangunan pengendali banjir

Buruknya pemeliharaan bangunan Kerusakan dan penurunan fungsi merupakan akibat dari pengendalian banjir.

12. Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat

Teknik pencegahan banjir tertentu berpotensi mengurangi kerusakan pada banjir kecil hingga sedang, namun meningkatkan kerusakan pada banjir besar. Misalnya saja pembuatan tanggul yang tinggi. Saat terjadi banjir, tanggul akan roboh jika debit air yang keluar melebihi perkiraan volume banjir. Hal ini akan membuat air mengalir melewati tanggul dan menjadi sangat deras, sehingga mengakibatkan bencana banjir.

2.2 Drainase

Menurut (Saidah, 2021), sistem drainase dirancang untuk mengatasi masalah kelebihan air yang tidak diinginkan, baik alirannya berada di atas atau di bawah permukaan. Kelebihan air ini bisa berasal dari limpasan air hujan atau dari air buangan dari pemukiman warga.

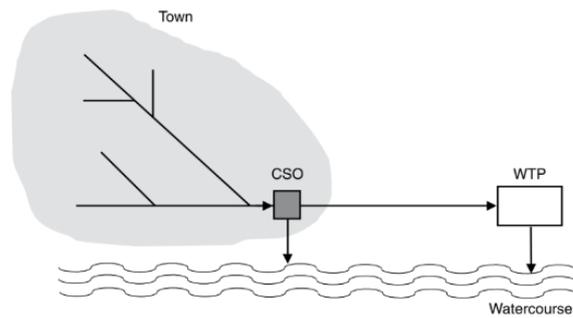
2.2.1 Drainase Perkotaan

Menurut (Saidah, 2021), Drainase perkotaan merupakan salah satu cabang ilmu drainase yang fokus pada permasalahan teknis pengeringan perkotaan. Hal ini terkait erat dengan permasalahan kesehatan lingkungan dan estetika perkotaan. Drainase perkotaan sering kali merupakan permasalahan rumit yang memerlukan pendekatan terpadu yang mempertimbangkan aktivitas sosial, budaya, dan komunal, bukan hanya menyelesaikan masalah teknis saja (yaitu membuat infrastruktur drainase). Perancangan sistem drainase perkotaan harus memperhatikan dan memperhatikan variabel perancangan seperti penggunaan lahan, perencanaan ruang kota, dan situasi sosial ekonomi masyarakat, mengingat kompleksitas dalam mengatasi tantangan perkotaan (Hasmar, 2012).

2.2.2 Jenis-jenis Drainase

Tipe dan jenis drainase dibagi dalam beberapa kelompok sebagai berikut (Buttler, 2018) & (Wesli, 2008):

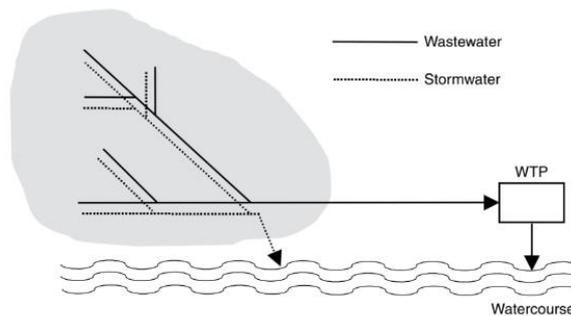
1. Berdasarkan proses terbentuknya
 - a. Drainase alamiah
Drainase yang dihasilkan secara alami oleh sungai, danau, dan saluran pembuangan, serta proses alami lainnya.
 - b. Drainase buatan
Sistem drainase yang dibuat oleh manusia, seperti kanal dan struktur drainase terkoordinasi lainnya, yang memiliki fungsi tertentu.
2. Berdasarkan sistem pengalirannya
 - a. Sistem gabungan
Melalui saluran atau pipa terbuka, sistem ini memungkinkan terjadinya aliran campuran air limbah dan air hujan. Hampir seluruh kota di Indonesia menggunakan sistem drainase gabungan ini.



Gambar 2. 1 Drainase Sistem Gabungan (Buttler et al, 2018)

b. Sistem terpisah

Air hujan dan air limbah dialirkan dengan metode ini menggunakan pipa berbeda atau saluran terbuka dan tertutup yang biasanya dipasang bersebelahan. Curah hujan dapat langsung dibuang ke laut dengan memisahkannya dari air limbah, karena instalasi pengolahan air limbah hanya menangani air limbah. Hal ini mengurangi kemungkinan air hujan terkontaminasi oleh air limbah.



Gambar 2. 2 Drainase Sistem Terpisah (Buttler et al, 2018)

c. Sistem hybrid

Sistem ini merupakan kombinasi komponen hybrid dan stand-alone. Karena sebagian kecil kota-kota tua yang menggunakan sistem terpadu dimasukkan ke dalam pembangunan kota-kota baru yang menggunakan sistem

terpisah, beberapa kota secara tidak sengaja menerapkan sistem hybrid ini.

3. Berdasarkan letaknya

a. Drainase permukaan

Sistem drainase di mana air dikosongkan secara gravitasi melalui saluran yang ditinggikan di atas tanah.

b. Drainase bawah

Sistem drainase yang mengalir di bawah tanah dengan menanam bangunan pada kedalaman tertentu (biasanya menggunakan pipa yang berlubang di bagian atasnya) sehingga membentuk jaringan di bawah permukaan dan menghubungkan ke sistem drainase perkotaan.

4. Berdasarkan konstruksinya

a. Drainase saluran tertutup

Jenis ini sering digunakan untuk drainase pinggiran kota dan pengumpulan curah hujan.

b. Drainase saluran terbuka

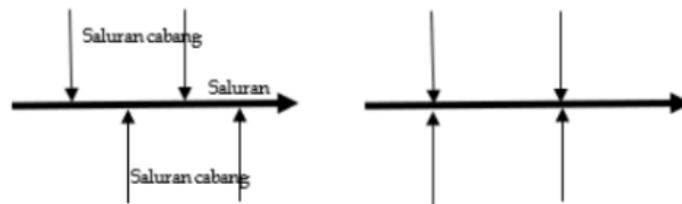
Jenis ini sebaiknya digunakan sebagai pemandu air limbah, jika mengalir di udara terbuka tidak hanya mengurangi estetika, tetapi juga mudah mencemari lingkungan yang dilaluinya.

2.2.3 Pola Jaringan Drainase

Menurut (Wesli, 2008), sistem jaringan drainase biasanya membentuk pola jaringan tertentu dan saling berhubungan. Berikut ini merupakan beberapa pola jaringan drainase:

1. Pola Siku

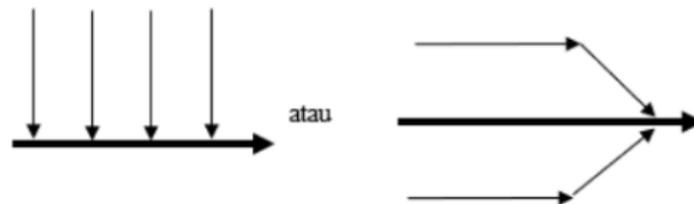
Apabila topografi badan air penerima lebih tinggi dari sungai dan alur sungai utama terletak di tengah kota, maka pola siku-siku yang terbentuk antara alur sungai cabang dan alur sungai utama adalah tepat.



Gambar 2. 3 Pola Siku (Wesli, 2008)

2. Paralel

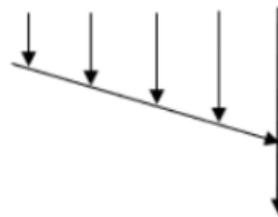
Saluran primer disejajarkan sejajar dengan saluran cabang dalam pola paralel.



Gambar 2. 4 Pola Paralel (Wesli, 2008)

3. Pola Grid Iron

Air berpindah dari saluran cabang ke saluran pengumpul dan akhirnya masuk ke saluran utama berkat susunan kisi-kisi besi

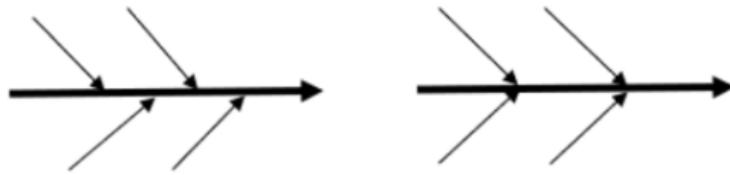


ini.

Gambar 2. 5 Pola Grid Iron (Wesli, 2008)

4. Pola Alamiah

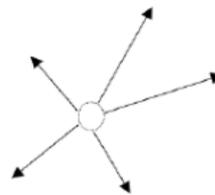
Meskipun aliran air tidak selalu sejajar dengan saluran utama, namun hampir identik dengan bentuk siku.



Gambar 2. 6 Pola Alamiah (Wesli, 2008)

5. Pola Radial

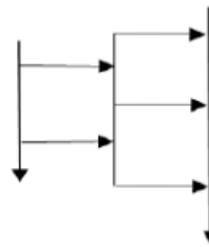
Pola jaringannya bermula dari sumber air dan meluas ke segala arah. Pola ini bekerja dengan baik di lokasi yang berbukit.



Gambar 2. 7 Pola Radial (Wesli, 2008)

6. Pola Jaring-jaring

Pendekatan ini bekerja dengan baik di wilayah dengan medan datar dan memiliki saluran di sepanjang jalan raya utama.



Gambar 2. 8 Pola Jaring-jaring (Wesli, 2008)

2.3 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)

Menurut (Asdak, 2023), Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang dibatasi oleh pegunungan topografi yang menyimpan dan mengumpulkan curah hujan sebelum sungai-sungai besar membawanya ke laut. Menurut (Black, 1996), Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah satuan

lahan alami di mana air dari curah hujan langsung, pencairan salju, dan penyimpanan lainnya dikumpulkan dalam saluran (biasanya di permukaan) dan mengalir ke bawah ke saluran keluar umum untuk kemudian memasuki badan air lain seperti sungai, aliran sungai, sungai, lahan basah, danau atau laut.

2.3.1 Topografi

Menurut (Richard, 2022) Peta topografi, yang sering disebut permukaan bumi atau dataran, menunjukkan ketinggian yang ditentukan oleh permukaan laut. Peta ini menunjukkan relief, atau tinggi (koordinat Z), dan dimensi bidang, atau panjang dan lebar (koordinat X dan Y). Batas sungai akan diketahui melalui pengolahan data menggunakan peta topografi ini.

2.3.2 Tutupan Lahan dan Koefisien Aliran

Kondisi tutupan lahan biasanya mencakup pemeriksaan vegetasi dan praktik pengolahan lahan seperti terasering, yang memiliki dampak utama terhadap laju erosi dan sedimentasi. Tanah yang ditumbuhi vegetasi dengan baik memiliki kemampuan untuk mengurangi kecepatan aliran permukaan air, meningkatkan daya infiltrasi tanah, memberikan perlindungan terhadap erosi, menyerap dan menyimpan air, serta mengendapkan partikel tanah yang terbawa oleh air, sehingga mengurangi erosi. Vegetasi dan praktik pengolahan lahan merupakan faktor utama dalam proses erosi (SNI, 03:1724:1989). Koefisien aliran yang dimaksud dalam pedoman ini adalah perbandingan jumlah curah hujan dalam periode waktu tertentu dan koefisien aliran permukaan. Faktor lain (perkotaan, perdesaan), ciri DPS pada Pasal 4 Ayat 3 dan fungsi lahan mempunyai pengaruh terhadap nilai koefisien aliran. Untuk merancang bangunan, koefisien debit harus ditentukan dari pengujian dan/atau perhitungan hidrologi pada area yang bersangkutan (SNI, 03:1724:1989). Adapun perhitungannya menggunakan Rumus 2.1.

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot A_i}{A_i} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

- C = Koefisien aliran permukaan
 n = Jumlah jenis tutupan lahan
 C_i = Koefisien aliran limpasan berdasarkan tutupan lahan i
 A_i = Luas daerah tutupan lahan i (km²)

2.4 Analisis Hidrologi

Menurut (Asdak, 2007) Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari air (cair, gas, padat) dalam segala bentuknya di dalam dan di atas permukaan bumi. Hal ini mencakup perilaku, distribusi, dan karakteristik fisik dan kimia dari siklus serta interaksinya dengan komponen biologis air. Menurut (Syarifudin, 2017) aliran air yang terus-menerus melalui kondensasi, presipitasi, penguapan, dan transpirasi dari atmosfer ke bumi dikenal sebagai hidrologi.

A. Presipitasi

Hujan, salju, dan hujan es semuanya dianggap sebagai jenis presipitasi. Hujan es tercipta ketika awan terbentuk. Awan ini berkeliling dunia di bawah arahan arus udara. Misalnya, ketika awan mendekati gunung, awan menjadi dingin dan langsung jenuh dengan air, yang kemudian turun ke bumi.

B. Kondensasi (Pengembunan)

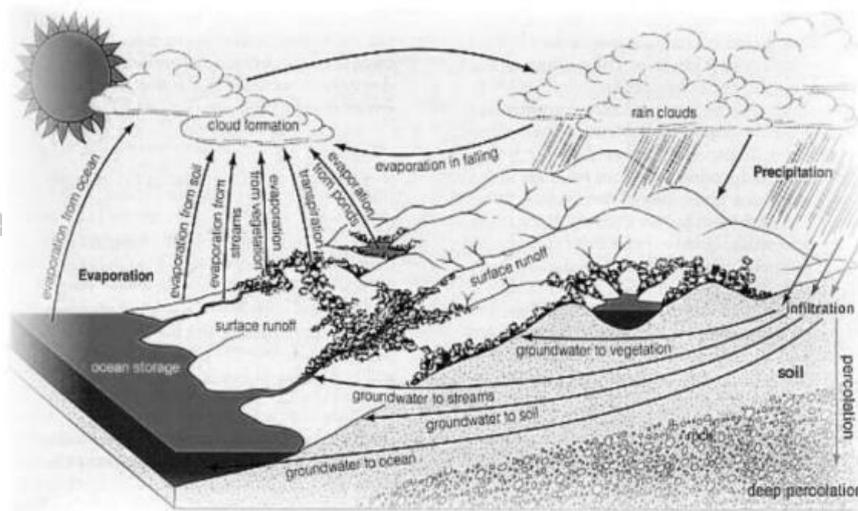
Pada partikel debu kecil di atmosfer, uap air yang mengembang, mendingin, dan kemudian mengembun sering kali terdeteksi. Ketika kondensasi terjadi, tetesan air yang dihasilkan berkumpul membentuk awan. Mereka juga bisa langsung mengeras menjadi es, salju, atau hujan es.

C. Evaporasi (Penguapan)

Sinar matahari memanaskan air hingga mencapai suhu di mana energi pada permukaan molekul memutus ikatannya, menyebabkan molekul mengembang dan menjadi tidak terlihat di atmosfer sebagai uap air.

D. Transpirasi

Sebagian curah hujan dan salju cair merembes ke lapisan bawah permukaan dan akhirnya mencapai permukaan air dan berubah menjadi air tanah melalui infiltrasi, atau perkolasi, melalui pori-pori dan celah pada batuan dan tanah.



Gambar 2. 9 Skema Siklus Hidrologi (Syarifudin, 2017)

2.4.1 Curah Hujan Kawasan

Curah hujan merujuk pada jumlah total air yang terakumulasi di suatu bidang datar dalam jangka waktu tertentu, dengan asumsi bahwa tidak ada limpasan permukaan, infiltrasi, atau penguapan yang terjadi (SNI, 03:1724:1989).

A. Metode Aritmatik

Ketinggian curah hujan di setiap lokasi pengukuran selama periode waktu tertentu dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah total lokasi pengukuran untuk menentukan metode rata-rata. Cara ini sebaiknya digunakan pada daerah yang medannya datar, curah hujannya lebih banyak, dan sifat curah hujannya baik menggunakan Rumus 2.2.

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

- \bar{P} = Tinggi hujan rata-rata (mm)
 $P_1 + \dots + P_n$ = Tinggi hujan pada setiap pos hujan yang diamati (mm)
 n = Banyaknya pos hujan

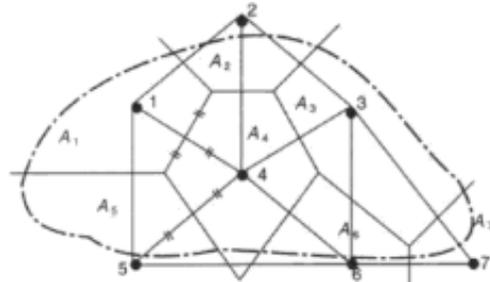
B. Metode Poligon Thiessen

Dengan menggambar poligon di antara kolom-kolom hujan di suatu wilayah sungai dan mengalikan luas setiap poligon dengan tinggi curah hujan, Metode Poligon Thiessen menentukan tinggi curah hujan rata-rata regional. Kemudian dibagi dengan luas wilayah sungai secara keseluruhan. Jika curah hujan tidak merata, cara ini dapat digunakan untuk menentukan tinggi rata-rata curah hujan menggunakan Rumus 2.3.

$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_{total}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

- \bar{P} = Tinggi hujan rata-rata (mm)
 $A_1 \dots A_n$ = Tinggi hujan pada Stasiun 1...n (mm)
 $P_1 \dots P_n$ = Luas yang dibatasi polygon (km²)



Gambar 2. 10 Metode Poligon Thiessen (Soemarto, 1999)

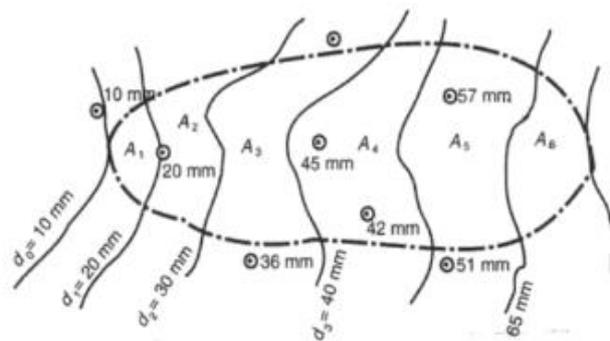
C. Metode Isohyet

Metode isohyet ditentukan dengan membagi rata-rata jumlah hujan pada suatu DAS dengan luas seluruh DAS, kemudian mengalikan rata-rata jumlah hujan antara kedua garis isohiet dengan luas antara kedua garis isohiet tersebut. Hal ini dilakukan dengan memanfaatkan peta kontur yang menggambarkan jumlah curah hujan di suatu wilayah. Strategi ini bekerja dengan baik khususnya di medan yang curam dan bergunung-gunung. Rumus yang digunakan untuk perhitungan menggunakan Rumus 2.4.

$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{P_1+P_2}{2} + A_2 \frac{P_2+P_3}{2} + \dots + A_n \frac{P_n+P_{n+1}}{2}}{A_{total}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

- \bar{P} = Hujan rerata kawasan
- $A_1 \dots A_n$ = Luas yang dibatasi garis isohyet (km²)
- $P_1 \dots P_n$ = Tinggi hujan yang sama pada setiap garis isohyet (mm)



Gambar 2. 11 Metode Garis Isohyet (Soemarto, 1999)

2.4.2 Data Curah Hujan Hilang

Data curah hujan tidak mencukupi karena pos hujan tidak selalu berfungsi dengan baik. Jika terdapat keterkaitan yang kuat antara curah hujan maksimum harian pada stasiun yang akan digunakan dengan stasiun yang akan digunakan untuk pengisian data, maka

data curah hujan hanya akan diisi untuk keperluan analisis banjir terencana. Menurut (SNI, 2451:2016), untuk menanggulangi data yang hilang dapat menggunakan dua metode yaitu :

- A. Perhitungan curah hujan rata-rata dari lokasi hujan yang paling dekat dengan titik hujan. Tidak ada data mengenai curah hujan. Jika selisih rata-rata curah hujan tahunan pada stasiun hujan terdekat dengan data yang hilang kurang dari 10%, maka hal ini dapat dilakukan.
- B. Rasio curah hujan tahunan dibandingkan dengan stasiun hujan lainnya dihitung. Jika curah hujan tahunan merupakan hal yang biasa, pendekatan ini dapat digunakan. Terdapat perbedaan lebih dari 10% antara stasiun hujan terdekat. Situs web kekurangan informasi. Perhitungan menggunakan Rumus 2.5.

$$RR = \frac{1}{n} \left\{ \left(\frac{N_x R_a}{N_a} \right) + \left(\frac{N_x R_b}{N_b} \right) + \dots + \left(\frac{N_x R_n}{N_n} \right) \right\} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

RR = Curah hujan data hilang (mm)

N_x = Rerata curah hujan tahunan di stasiun dengan data yang hilang (mm)

R_a, \dots, R_n = Curah hujan pada stasiun A, B, ...N saat waktu tertentu (mm)

N_a, \dots, N_n = Rata-rata curah hujan tahunan di stasiun A, B, ...N (mm)

2.4.3 Analisis Frekuensi

Pengujian hubungan antara perhitungan probabilitas (p), yang diwakili oleh rumus $p=1/T$, dan periode ulang (T). Perhitungan untuk analisis frekuensi dapat dilakukan secara grafis atau analitis. Menurut (SNI, 2451:2016) perhitungan analisis frekuensi sebagai berikut:

2.4.3.1 Parameter Statistik

Salah satu elemen kunci dalam analisis frekuensi adalah parameter. Berikut merupakan perhitungan dari parameter statistik menggunakan Rumus 2.6 sampai 2.14.

A. Rata-rata (\bar{X})

- Distribusi Normal dan Gumbel

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n} \dots\dots\dots (2.6)$$

- Distribusi Log Normal dan Log Person III

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(Xi)}{n} \dots\dots\dots (2.7)$$

B. Standar Deviasi (S_d)

Angka standar deviasi (S_d) bertambah seiring dengan tersebarnya data di sekitar nilai rata-rata dan sebaliknya. Untuk perhitungannya digunakan Rumus 2.8 dan 2.9.

- Distribusi Normal dan Gumbel

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{Xi - \bar{X}\}^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.8)$$

- Distribusi Log Normal dan Log Person III

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{\log Xi - \log \bar{X}\}^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.9)$$

C. Koefisien Variasi (C_v)

Metrik yang disebut koefisien variasi digunakan untuk membandingkan nilai rata-rata dan deviasi standar suatu distribusi. Rumus untuk mencari cv menggunakan Rumus 2.10.

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.10)$$

D. Koefisien Skewness (C_s)

Koefisien Skewness menunjukkan asimetri bentuk sebaran. Rumus perhitungan koefisien skewness menggunakan Rumus 2.11 dan 2.12.

- Distribusi Normal dan Gumbel

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \dots \dots \dots (2.11)$$

- Distribusi Log Normal dan Log Person III

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3} \dots \dots \dots (2.12)$$

Distribusi kurva dikatakan simetris jika koefisiennya sama dengan 0,00. Distribusinya akan miring ke kiri jika kurang dari nol dan ke kanan jika lebih besar dari nol..

E. Koefisien Kurtosis (C_K)

Derajat kecuraman kurva distribusi dinyatakan dengan koefisien (C_K). Rumus 2.13 dan 2.14 dapat digunakan untuk mencari koefisien ini.

- Distribusi Normal dan Gumbel

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \dots \dots \dots (2.13)$$

- Distribusi Log Normal dan Log Person III

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^4 \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan:

- \bar{X} = nilai rerata curah hujan
- X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i
- n = Jumlah data dari curah hujan yang diteliti
- S_d = Standar Deviasi
- C_v = Koefisien Variasi
- C_s = Koefisien Skewness
- C_k = Koefisien Kurtosis

2.4.3.2 Pemilihan Jenis Distribusi

Histogram yang menyerupai kurva dibuat dari data debit banjir sesaat hasil pengamatan > 20 tahun. Kemudian dicoba didekati dengan menggunakan fungsi distribusi, seperti

distribusi normal, distribusi log normal, gamma, Pearson, log Pearson, Gumbel, dan lain-lain. Besaran banjir/curah hujan yang direncanakan dihitung menggunakan fungsi distribusi yang paling mendekati data observasi.

2.4.3.3 Distribusi Frekuensi

Beberapa rumus seperti distribusi normal, distribusi Gumbel, distribusi log normal, dan distribusi log Pearson III digunakan untuk menghitung distribusi frekuensi curah hujan periode ulang. Perhitungan curah hujan yang direncanakan menggunakan metode ini untuk mengembalikan periode T di setiap distribusi Perhitungan yang berbeda (SNI, 2451:2016). Rumus distribusi frekuensi menggunakan Rumus 2.15 sampai 2.19.

A. Distribusi Normal

$$X_T = \bar{X} + K_T S_d \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan:

X_T = Tinggi curah hujan rencana pada suatu periode ulang (mm/hari)

\bar{X} = Rerata tinggi curah hujan(mm/hari)

K_T = Nilai variabel reduksi Gauss pada suatu periode ulang

S_d = Nilai standar deviasi distribusi normal

B. Distribusi Gumbel

$$X_T = \bar{X} + S_d K_T \dots\dots\dots (2.16)$$

$$k_T = \frac{(Y_T - Y_n)}{S_n} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

X_T = Tinggi curah hujan rencana pada suatu periode ulang (mm/hari)

\bar{X} = Rerata tinggi curah hujan (mm/hari)

- S_d = Nilai standar deviasi distribusi Gumbel
- k_T = Nilai faktor probabilitas
- Y_T = Reduksi variat berdasarkan variabel
- Y_n = Rerata reduksi variat
- S_n = Standar deviasi reduksi variat

C. Distribusi Log Normal

$$X_T = \text{Log } \bar{X} + S_{d \log x} k_T \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

- X_T = Tinggi curah hujan rencana pada suatu periode ulang (mm/hari)
- \bar{X} = Rerata tinggi curah hujan (mm/hari)
- S_d = Nilai standar deviasi distribusi Log Normal
- k_T = Nilai faktor probabilitas

D. Distribusi Log Person III

$$\text{Log } X_T = \text{Log } \bar{X} + S_{d \log x} k_T \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

- $\text{Log } X_T$ = Tinggi curah hujan rencana pada suatu periode ulang dalam bentuk logaritmik
- \bar{X} = Rerata tinggi curah hujan (mm/hari)
- S_d = Nilai standar deviasi distribusi Log Normal
- k_T = Nilai faktor probabilitas

2.4.3.4 Uji Cara Grafis

Memenuhi kondisi yang diuraikan dalam kertas probabilitas merupakan prasyarat lain untuk memilih jenis distribusi. Uji grafik pada kertas probabilitas dirancang untuk mengetahui seberapa jauh suatu titik data menyimpang dari garis teoritis (SNI, 2451:2016).

Perhitungan probabilitas uji grafis menggunakan Rumus 2.20.

$$P(X_m) = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan:

$P(X_m)$ = Data yang telah diurutkan

m = Nomor urut data

n = Jumlah data

2.4.3.5 Uji Kecocokan Distribusi

Analisis uji kesesuaian distribusi digunakan untuk mengetahui apakah distribusi frekuensi data sampel layak digambarkan atau diwakili oleh fungsi distribusi probabilitas.

1) Uji Smirnov-Kolmogorof

Karena tidak memerlukan fungsi distribusi tertentu, uji kesesuaian Smirnov Kolmogorov sering disebut sebagai uji kesesuaian nonparametrik.

Prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut :

1. Menentukan besarnya peluang setiap bagian data dengan cara mengurutkannya (dari besar ke kecil atau sebaliknya).

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

$$X_3 = P(X_3) \text{ dan seterusnya}$$

2. Dari hasil rangkuman data (persamaan distribusi), urutkan nilai peluang teoritisnya.

$$X_1 = P'(X_1)$$

$$X_2 = P'(X_2)$$

$$X_3 = P'(X_3) \text{ dan seterusnya}$$

3. Hitung perbedaan distribusi antara probabilitas teoritis dan probabilitas observasi menggunakan dua nilai probabilitas ini. Rumus 2.21.

$$D = \text{maksimum } (P(X_n) - P'(X_n)) \dots (2.21)$$

4. Menentukan harga D dapat ditentukan berdasarkan tabel nilai kritis (smirnov-kolmogorov test).

Tabel 2. 1 Nilai Kritis Smirnov-Kolmogorov Test

N	A (Derajat Kepercayaan)			
	20%	10%	5%	1%
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,3	0,34	0,4
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
>50	Menggunakan Persamaan			

Sumber: Soewarno, 1995

2) Uji Chi-Kuadrat

Mencari tahu apakah persamaan distribusi yang dipilih secara akurat menggambarkan distribusi statistik dari sampel data yang dianalisis adalah tujuan dari uji chi-Square. Jika nilai chi-kuadrat yang dihitung < chi-kuadrat kritis, maka analisis dapat diterima. Perhitungan untuk uji Chi-Kuadrat menggunakan Rumus yang 2.22 samapai 2.25.

$$G = 1 + 3,322 \log n \dots (2.22)$$

$$DK = G - (P + 1) \dots (2.23)$$

$$E_i = \frac{n}{G} \dots (2.24)$$

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.25)$$

Keterangan:

- X_h^2 = Parameter chi-kuadrat terhitung
- G = Jumlah sub-kelompok
- E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub-kelompok i
- O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub-kelompok i
- DK = Derajat kebebasan
- P = Untuk distribusi normal dan binomial = 2
= Untuk distribusi gumbel dan poisson = 1

2.4.4 Intensitas Hujan Periode Ulang dan Curah Hujan Efektif

Lamanya frekuensi dan periode ulang hujan semuanya mempengaruhi intensitas curah hujan. Keterkaitan ketiganya ditampilkan pada kurva IDF (Intensity Duration Frekuensi). Untuk membuat kurva intensitas curah hujan dan proporsi distribusi curah hujan, intensitas curah hujan merupakan faktor penting dalam perhitungan prediksi aliran banjir. Metode mononobe untuk Rumus 2.26 dan rasio distribusi hujan menggunakan Rumus 2.27.

$$I = \frac{R_0}{t_c} \left(\frac{t_c}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$R_t = t \cdot I - (t - 1) \cdot (I_{t-1}) \dots\dots\dots (2.27)$$

Keterangan:

- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- R_0 = Curah hujan pada suatu periode ulang (mm)
- t_c = Waktu konsentrasi hujan (jam)
- R_t = Rasio distribusi hujan
- t = Durasi hujan (jam)

Curah hujan efektif (R_{ei}) dapat dicari dengan menggunakan Rumus 2.28.

$$R_{ei} = R_{24} \times R_t \dots\dots\dots (2.28)$$

Keterangan:

R_{ei} = Hujan efektif pada distribusi hujan (mm)

R_{24} = Curah hujan maksimum selama 24 jam tiap periode ulang (mm)

R_t = Rasio distribusi hujan

2.4.5 Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Debit Banjir Periode Ulang

Data curah hujan per jam diperlukan agar hidrograf satuan dapat digunakan untuk menentukan intensitas banjir. Pendekatan ini mencari hubungan sebab-akibat antara limpasan permukaan dan curah hujan, meskipun jelas bahwa kuantitas dan kualitas curah hujan secara langsung mempengaruhi hidrograf, sehingga hubungan tersebut dapat dijelaskan dalam satuan hidrograf, dan besarnya curah hujan dapat dijelaskan. Pengaruh curah hujan efektif terhadap limpasan permukaan (SNI, 2451:2016).

A. Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Metode HSS Nakayasu dapat dihitung dengan menggunakan Rumus 2.29 dan 2.30 yang terdapat pada, (SNI, 2451:2016).

$$Q_p = \frac{c.A.R_0}{3,6(0,3T_p+T_{0,3})} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$Q_{base\ flow} = 0,5Q_p \dots\dots\dots (2.30)$$

Keterangan:

Q_p = Debit banjir puncak (m³ /det)

$Q_{base\ flow}$ = Aliran dasar (m³ /det)

c = Koefisien aliran permukaan

A = Luas DAS (km²)

L = Panjang sungai yang diteliti (km)

R_0 = Curah hujan (mm), biasa dipakai 1 mm

T_g = Waktu konsentrasi (jam)

$$= 0,4 + 0,058L \quad [L \geq 15 \text{ km}]$$

$$= 0,21L^{0,7} \quad [L < 15 \text{ km}]$$

T_r = Durasi atau waktu dari curah hujan (jam);
[0,5Tg sampai 1Tg]

T_p = Durasi permulaan banjir sampai dengan
puncak hidrograf banjir (jam)

$$= T_g + 0,8 T_r$$

$T_{0,3}$ = Durasi puncak banjir sampai 0,3 kali debit
puncak banjir (jam)

$$= aT_g$$

a = Koefisien karakteristik DAS [1,5 3,5]

B. Hidrograf Satuan Sintetis Snyder

Metode Snyder adalah pendekatan Amerika untuk menghitung HSS. Pembuatan estimasi HSS ini didasarkan pada rumus empiris dan koefisien yang mengintegrasikan fitur daerah aliran sungai dan variabel hidrologi. Rumus HSS Snyder dapat dilihat pada rumus 2.31 sampai 2.34 (SNI, 1724:2015).

$$t_p = C_t(L \cdot L_c) \dots\dots\dots (2.31)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \dots\dots\dots (2.32)$$

$$Q_p = 2,78 \frac{C_p \times A}{t_p} \dots\dots\dots (2.33)$$

$$t_b = 72 + 3t_p \dots\dots\dots (2.34)$$

Keterangan:

t_p = Durasi awal titik berat hujan hingga debit puncak
(jam)

t_r = Durasi hujan efektif (jam)

C_t = Nilai koefisien waktu (0,75 3,00)

L = Panjang aliran sungai utama (km)

L_c = Jarak titik berat DAS menuju outlet sepanjang
aliran utama (km)

Q_p = Debit maksimum total (m³ /det)

- A = Luas daerah aliran sungai (km²)
- C_p = Nilai koefisien debit (0,90 1,40)
- t_b = Waktu dasar hidrograf (jam)

C. Hidrograf Satuan Siintetis Soil Conservation Servis (SCS)

Rasio debit (q) terhadap debit puncak (qp) dan durasi (t) terhadap durasi kenaikan (Tp) digunakan untuk menyatakan HSS SCS. Perhitungan HSS SCS dapat menggunakan Rumus 2.35 sampai 2.38 (SNI, 1724:2015).

1. Debit Puncak (Q_p)

$$Q_p = \frac{2,08A}{T_p} \dots\dots\dots (2.35)$$

Keterangan:

- Q_p = Debit puncak (m³ /det)
- A = Luas DAS (km²)
- T_p = Durasi naik atau durasi permulaan hujan hingga puncak hidrograf (jam)

2. Waktu Kelambatan (t_p)

$$t_p = 0,6T_c \dots\dots\dots (2.36)$$

$$t_p = 2,67T_p \dots\dots\dots (2.37)$$

Keterangan:

- t_p = Waktu kelambatan; durasi titik berat curah hujan menuju puncak hidrograf (jam)
- t_c = Waktu konsentrasi (jam)
- $t_c = 0,01947L^{0,77} S^{-0,385}$
- L = Panjang maksimum sungai (m)
- S = Kemiringan daerah aliran sungai

3. Waktu Naik (T_p)

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \dots\dots\dots (2.38)$$

Keterangan:

t_p = Waktu naik atau durasi permulaan hujan menuju puncak hidrograf (jam)

T_p = Waktu kelambatan; durasi titik berat curah hujan hingga puncak hidrograf (jam)

t_r = Durasi curah hujan efektif (jam)

D. Hidrograf Satuan Sintetis

Menentukan total debit banjir per jam yang dihasilkan dari sebaran hujan setelah menentukan ordinat debit banjir unit HSS dapat menggunakan Rumus 2.39.

$$Q_{tot} = U_1 \cdot R_{ei} + U_2 \cdot R_{ei2} + U_3 \cdot R_{ei3} + U_n \cdot R_{ei(n-1)} + Q_b \dots\dots (2.39)$$

Keterangan:

Q_{tot} = Debit banjir total tiap jam pada suatu periode ulang (m^3 /det)

U_a = Ordinat atau posisi HSS; Q_1 ; Q_r ; Q_t (m^3 /det)

R_{ei} = Hujan efektif pada distribusi hujan (mm) = Curah hujan periode ulang x rasio distribusi hujan

Q_b = Aliran dasar/base flow (m^3 /det)

2.5 Analisis Hidrolika

Ilmu hidrolika mengkaji berbagai aspek pergerakan air, termasuk komposisi, kecepatan, dan gaya. Dalam analisis hidrolik, aliran saluran tertutup dan terbuka diperiksa. analisis hidrolik saluran terbuka dan aliran sungai. Menemukan kapasitas penampang sungai merupakan salah satu tujuan analisis hidrolika. Perhitungannya dapat menggunakan Rumus 2.40 sampai 2.43.

1. Persamaan Chezy

$$Q = AC\sqrt{RS} \dots\dots\dots (2.40)$$

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \frac{n}{\sqrt{R}}(23 + \frac{0,00155}{S})} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$C = \frac{87}{1 + \frac{Y}{\sqrt{R}}} \dots\dots\dots (2.42)$$

2. Persamaan Manning

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A \dots\dots\dots (2.43)$$

Keterangan:

- Q = kapasitas debit penampang (m³ /det)
- A = Luas penampang basah (m²)
- R = Jari-jari hidrolis (m) = A/P
- P = Keliling penampang basah (m)
- S = Kemiringan pada dasar atau lantai saluran
- C = Koefisien Chezy
- n = Koefisien kekasaran Manning untuk saluran
- Y = Berat jenis bahan lapisan saluran

2.5.1 Pemodelan Hidrolika dengan HEC-RAS

Pemodelan hidrolika menggunakan aplikasi *hydrologic Engineering Center River Analysis System* (HEC-RAS). Aplikasi ini bertujuan untuk menganalisis aliran tetap dan aliran tidak tetap. Pemodelan ini berdasarkan pada persamaan kontinuitas dan momentum untuk menggambarkan perilaku aliran air di suatu sistem sungai atau saluran.

A. Konsep perhitungan pada HEC-RAS

1. 1D Model

Komponen simulasi aliran tak tetap pada sistem pemodelan HEC-RAS mampu mensimulasikan aliran tak tetap 1D melalui jaringan saluran terbuka penuh. Kekekalan massa, sering disebut dengan kontinuitas, dan kekekalan momentum adalah hukum fisika yang mengatur aliran air di sungai. Persamaan kontinuitas dan persamaan momentum adalah dua persamaan diferensial parsial yang mewakili gagasan tersebut. Laju aliran bersih ke dalam suatu volume sama dengan laju

perubahan penyimpanan dalam volume tersebut, sesuai dengan prinsip kekekalan massa. Rumus persamaan kontinuitas menggunakan Rumus 2.44.

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - qL = 0 \dots\dots\dots (2.44)$$

Keterangan:

- A_T = Total luas aliran (m²)
- Q = Total aliran (m³/s) sebagai fungsi jarak x , dan
- t = waktu
- qL = Aliran masuk lateral per satuan panjang (m²/s).

Prinsip kekekalan momentum yang didasarkan pada hukum kedua Newton, menyatakan bahwa total momentum yang masuk ke dalam suatu volume yang tetap sama dengan jumlah semua gaya luar yang bekerja pada volume tersebut, serta laju perubahan momentum dalam volume tersebut. Rumus persamaan momentum menggunakan Rumus 2.45.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots (2.45)$$

Keterangan:

- Q = Aliran total (m³/s⁻¹)
- t = Waktu
- V = Volume kendali (m³)
- g = Percepatan gravitasi (m /s⁻²)
- A = Luas total (m²)
- $\partial z / \partial x$ = Kemiringan permukaan air
(tanpa dimensi)
- S_f = Kemiringan gesekan (tanpa dimensi)

2. 2D Model

2D model HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) digunakan untuk pemodelan aliran air 2D dalam sistem sungai dan saluran terbuka. Rumus yang dipakai dalam 2D model menggunakan Rumus 2.46 sampai 2.48.

A. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + v \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \dots\dots\dots (2.46)$$

B. Persamaan Momentum

Arah sumbu X:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v \dots (2.47)$$

Arah sumbu Y:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f u \dots (2.48)$$

Keterangan:

- H = Ketinggian muka air (m)
- h = Kedalaman air (m)
- u = Rata-rata kecepatan aliran arah X (m²/det)
- v = Rata-rata kecepatan aliran arah Y (m²/det)
- q = Debit banjir (m³/det)
- v_t = Koefisien viskositas eddy
- c_f = Koefisien gesekan
- f = Parameter Coriolis

3. 1D-2D Coupled Model

Model Terhubung 1D-2D dalam HEC-RAS mengacu pada integrasi pemodelan aliran satu dimensi (1D) dan dua dimensi (2D) dalam sistem sungai atau aliran air.

Dalam model ini, bagian-bagian sungai yang memiliki karakteristik aliran yang berbeda, seperti sungai dengan aliran yang terbatas di bagian tertentu dan aliran yang lebih luas di bagian lainnya, hal ini memungkinkan untuk menghasilkan simulasi yang lebih realistis dan akurat, terutama dalam kondisi aliran yang kompleks atau daerah dengan topografi yang beragam. Persamaan weir digunakan dalam menghitung limpasan banjir yang terdapat pada Rumus 2.49.

$$dQ = C(y_{ws} - y_w)^{\frac{2}{3}} dx \dots\dots\dots (2.49)$$

Keterangan:

- dQ = Limpasan struktur (m)
- dx = Jarak elemen (m)
- y_{ws} = Elevasi muka air (m)
- y_w = Elevasi struktur (m)
- C = Koefisien weir

B. Komponen hidrolika yang dibutuhkan untuk HEC-RAS

1. Data Geometri

Data geometri yang dibutuhkan dalam melakukan simulasi menggunakan aplikasi HEC-RAS, yaitu data DEM, alur sungai (*river*), bantaran Sungai (*bank lines*), *cross section*, *lateral structure* dan *2D flow area*.

2. Debit Banjir

Debit banjir dalam simulasi HEC-RAS dibagi menjadi dua jenis, yaitu aliran tetap dan aliran tidak tetap. Aliran tetap, atau yang dikenal sebagai *steady flow*, adalah kondisi di mana debit, kecepatan, tekanan,

kepadatan, dan sebagainya tidak berubah seiring waktu. Di sisi lain, aliran tidak tetap, atau *unsteady flow*, adalah kondisi di mana parameter-parameter tersebut dipengaruhi oleh waktu. Untuk simulasi *unsteady flow*, data yang digunakan biasanya adalah hidrograf banjir sintetis.

3. Koefisien Kekasaran Manning

Koefisien kekasaran manning adalah parameter yang dimasukkan dalam rumus Manning untuk mengevaluasi kekasaran permukaan aliran dalam perhitungan aliran permukaan. Koefisien tersebut menggambarkan tingkat kasar atau halus nya permukaan aliran, dimana nilai yang lebih tinggi menunjukkan kekasaran yang lebih besar dan nilai yang lebih rendah menunjukkan kekasaran yang lebih kecil.

2.6 Penelitian Terdahulu

A. Modelling Compound Flooding a Case Study From Jakarta, Indonesia

Penelitian yang dilakukan oleh William G, Harshinie, dan Yunqing (2023) melakukan penelitian di daerah Jakarta Utara, Indonesia. Penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki banjir gabungan yang disebabkan oleh gelombang air laut dan aliran sungai.

B. Implementasi Software Hec-Ras 4.1.0 Dan Epa Storm Water Management Model (Swmm) 5.1.0 Pada Efektivitas Analisis Saluran Drainase (Studi Kasus Desa Kelet Kecamatan Keling Kabupaten Jepara)

Penelitian yang dilakukan Efrizal, Hidayat dan Adi Saputro (2022) melakukan penelitian di Kawasan Jalan Raya Kelet – Bangsari, Desa Kelet, Kecamatan Keling, Kabupaten Jepara yang tidak memiliki saluran drainase akibat Pembangunan tempat tinggal sehingga

menyebabkan banjir di wilayah tersebut. Peneliti melakukan analisis saluran drainase untuk penanganan banjir dengan menggunakan software HEC-RAS dan EPA SWMM.

C. Analisis Pengadaan Pintu Air dan Pompa Air Untuk Penanggulangan Banjir di Perumahan Graha Bunga Pondok Kacang Barat Tangerang Selatan

Penelitian ini dilakukan oleh Fathaya (2021) yang meneliti Sungai Angke di perumahan Graha Bunga dengan menggunakan software EPA SWMM untuk melakukan simulasi.

D. Model Analisis Efektivitas Saluran Drainase Menggunakan Software Hec-Ras

Penelitian yang dilakukan Restu Wigati (2017) melakukan penelitian pada drainase di Provinsi Banten khususnya di Jalan Arteri Merak – Cilegon kondisi eksisting drainase yang tidak dapat menampung debit air dengan membuat model analisis penanggulangan dan pengendalian genangan dengan menggunakan software *HEC-RAS*.

E. Comparison of 1D and 2D Hydraulic Models for Floods Simulation on the Medjerda Riverin Tunisia

Penelitian yang dilakukan Gharbi, Soualmia, Dartus dan Masbernat (2016) melakukan simulasi banjir dengan metode 1D-2D *Coupled model* untuk menilai dampak dari pekerjaan pengerukan terhadap banjir di sungai Medjerda Tunisia dengan menggunakan software HEC-RAS.